

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

А. С. ГУСЕВ¹, А. Н. ПАУТОВ²

¹gusev.angrey@bk.ru, ²njkzytrol@inbox.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. В статье представлен обзор процесса линейной сварки трением и его моделирования для оценки уровня остаточных напряжений.

Ключевые слова: линейная сварка трением; трение; остаточные напряжения; блиск; моноколесо.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей при разработке современных авиационных ГТД является уменьшение веса конструкции для увеличения доли полезной нагрузки. Использование в ГТД моноколес позволяет добиться снижения массы конструкции на 25% (рис. 1.) и повысить критическое число оборотов двигателя. Моноколесо это конструкция, которая состоит из лопаток и диска, выполненных как одно целое. [1]

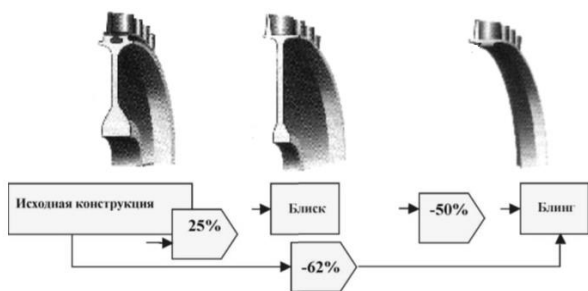


Рис. 1. Варианты изготовления рабочих колес

При проектировании и изготовлении моноколес должны быть обеспечены:

- высокая прочность и жесткость лопатки, испытывающей большие статические и динамические (переменные) нагрузки при высокой температуре;

- высокая степень чистоты обработки пера. Гладкая поверхность пера необходима как для уменьшения потерь на трение при течении воздуха, так и для увеличения сопротивления усталости конструкции лопатки;

- высокая точность исполнения линейных и угловых размеров при изготовлении

моноколес для получения одинаковых скоростей течения воздушного потока и одинаковых давлений и температур в каждом лопаточном канале. Различные режимы течения в лопаточных каналах не только снижают КПД компрессора, но и возбуждают колебания, приводящие к поломке лопаток;

- возможно меньшие концентраторы напряжений, особенно в месте перехода профильной части к диску, чтобы избежать возникновения высоких местных напряжений;

- минимальные остаточные напряжения.

В настоящее время известно несколько технологий изготовления моноколес, наиболее перспективной считается линейная сварка трением (ЛСТ). ЛСТ — это способ сварки металлов давлением, при котором соединяемые детали нагреваются за счет трения, возникающего при линейном возвратно-поступательном перемещении, друг относительно друга соединяемых частей. При этом для образования соединения не требуется расплавления металла изделия. В отличие от других видов сварки, технология с использованием силы трения применяется для сплавов с разными температурами плавления. В процессе соединения металл не расплавляется, а нагревается примерно до 0,9 температуры плавления, вследствие чего металл частично выдавливается в грат, за счет чего происходит удаление загрязнения с поверхности соединяемых деталей и

тем самым можно получить прочный шов. Приварка лопатки к диску с помощью ЛСТ начинается с установки деталей в сварочную машину с помощью специальной оснастки, последующего прижатия друг к другу свариваемыми поверхностями. При этом заготовка лопатки имеет напуск и припуск для обеспечения процесса ЛСТ (см. рис. 2).

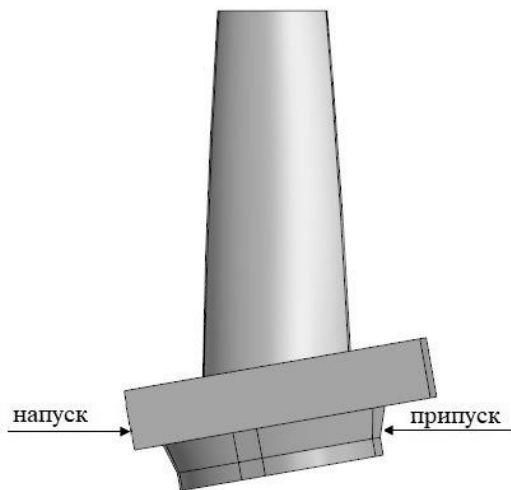


Рис. 2. Заготовка лопатки

Напуск используется для зажатия в оснастку, и удаляется после сварки. Припуск обеспечивает объем металла, выдавливаемого в грат при осадке, и контакт по всей поверхности чистового сечения пера лопатки при ВПД (см. рис.3).

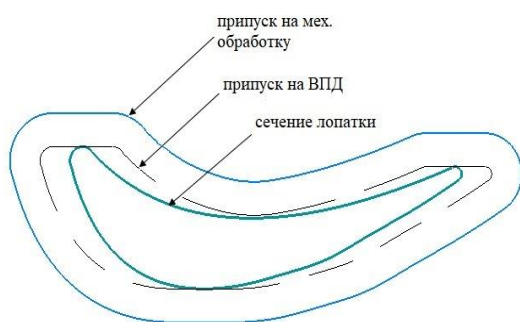


Рис. 3. Назначение припусков

В процессе сварки на свариваемые детали действуют усилия сдвига параллельно и усилие осадки перпендикулярно плоскости стыка. Величина усилия колебания меняется по периодическому закону, что обеспечивает возвратно-поступательные движение

одной детали относительно другой. При этом происходит генерация тепла и металл переходит в вязко-текучее состояние. Усилия осадки необходимо для плотного прижатия свариваемых поверхностей, выдавливания пластичного металла в грат, и формирования прочного соединения (см рис.4)

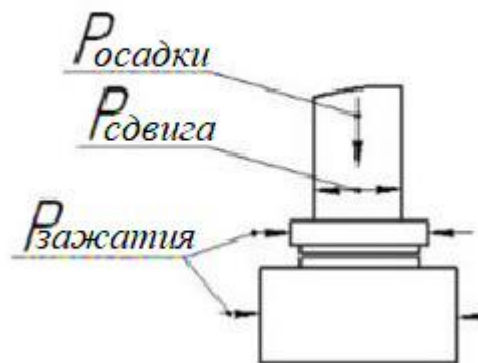


Рис. 4. Схема нагружения

Основными проблемами при изготовлении моноколес являются высокие требования по точности расположения множества лопаток одновременно с обеспечением необходимых прочностных характеристик лопаток. Значительное влияние на точность изготовления и прочность конструкции оказывают остаточные напряжения (ОН), возникающие в процессе ЛСТ. Известно о негативном влиянии на циклическую прочность растягивающих ОН [2][3]. Поэтому актуальной задачей является выбор методики определения уровня ОН. Среди всех методик наиболее рационально использовать численное моделирование, так как этот метод вкупе с хорошей повторяемостью результатов при ЛСТ позволяет с приемлемой точностью определить уровень ОН с минимальным количеством экспериментов.

В зарубежной статье [4] с помощью моделирования процесса ЛСТ определен уровень ОН для заготовок в форме 2-х параллелепипедов. В статье [5] также описана методика определения ОН при ЛСТ на стадии проковки. Однако данные методики не учитывают реальной геометрии и размеров заготовок лопаток. Авторами статьи [6] с помощью моделирования определен уровень ОН для заготовок с реальной формой и раз

мерами. Однако, методика расчета не учитывает воздействие температуры в процессе ЛСТ и релаксацию ОН при последующей механической обработке.

В связи с этим возникает необходимость усовершенствования методики моделирования процесса сварки трением с учетом геометрии лопатки, температурных воздействий в процессе сварки и механической обработки после сварки. Что в результате обеспечит возможность прогнозирования уровня ОН и деформаций пера лопатки в окончательно обработанном состоянии. Для реализации такой методики необходимо решить ряд задач: обеспечить импорт объемной математической модели и сгенерировать конечно-элементную сетку в Mechanical APDL, смоделировать стадию проковки процесса ЛСТ с учетом температурного состояния процесса сварки трением, обеспечить имитацию механической обработки и провести оценку деформаций

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Inozemtsev, A. A., V. L. Sandratskii** Gas Turbine engines. JSC "aircraft engine", 2006. - 1204 p..
2. Residual stresses / **Birger I. A.**-M.: Mashgiz, 1963. - 232 p.
3. Residual stresses in metal products: textbook / **Burkin S. P., Shimov G. V., Andryukova E. A.**-Yekaterinburg: Ural Publishing house. University press, 2015. - 248 p.
4. The Magnitude and Origin of Residual Stress in Ti-6Al-4V Linear Friction Welds: An Investigation by Validated Numerical Modeling/ **Turner, R; Ward, R M; March, R; Reed, R C.** // Metallurgical and Materials Transactions: Process Metallurgy and Materials Processing Science.-2012 , B; New York Vol. 43, No. 1, P. 186-197.
5. Welding and diagnostics / **Atroschenko V. V.** [et al.] / Numerical simulation of the forging stage in welded joints obtained by linear friction welding. - 2016. – No. 5. - P. 19-22.
6. Mavlyutova reading: Russian scientific-technical conference dedicated to the 85th anniversary since the birth of corresponding member. Russian Academy of Sciences, Professor R. R. Mavlyutova: collected works. Volume 3. - Ufa: UGATU, 2011. - P. 227 p.

ОБ АВТОРАХ

ГУСЕВ Андрей Сергеевич, магистрант каф. СЛАТ.

ПАУТОВ Анатолий Николаевич, ст. преподаватель каф. СЛАТ

METADATA

Title: Numerical simulation of linear friction welding as a method for estimating the level of residual stresses

Authors: A. S. Gusev¹, A.N. Pautov²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹gusev.angrey@bk.ru, ²mnjkzytrol@inbox.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (23), pp. 37-39, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The article presents an overview of the linear friction welding process and its modeling for estimating the level of residual stresses.

Key words: linear friction welding, friction, residual stress, blisk, monowheel.

About authors:

ГУСЕВ, Andrey Sergeyich, master's student of the Department SLAT (UGATU, 2020).

ПАУТОВ, Anatoliy Nikolaevich, senior lecturer of the Department SLAT. (UGATU, 2020).